

第一章 绪 论

随着微电子技术的不断发展,微处理器芯片的集成度越来越高,已经可以在一块芯片上同时集成 CPU、存储器、定时器/计数器、并行和串行接口、甚至 A/D 转换器等。人们把这种超大规模集成电路芯片称作“单片微控制器”(MCU, Single Chip Microcontroller),简称为单片机。单片机的出现,引起了仪器仪表结构的根本性变革,以单片机为主体取代传统仪器仪表的常规电子线路,可以容易地将计算技术与测量控制技术结合在一起,组成新一代的所谓“智能化测量控制仪表”。这种新型的智能仪表在测量过程自动化,测量结果的数据处理以及功能的多样化方面,都取得了巨大的进展。目前在研制高精度、高性能、多功能的测量控制仪表时,几乎没有不考虑采用微处理器使之成为智能仪表的,而目前在仪器仪表中使用得最多的微处理器就是单片机。在测量控制仪表中采用单片机技术使之成为智能仪表后能够解决许多传统仪表不能或不易解决的难题,同时还能简化仪表电路,提高仪表的可靠性,降低仪表的成本以及加快新产品的开发速度。这类仪表的设计重点已经从模拟和逻辑电路的设计转向专用的单片机模板或功能部件、接口电路以及输入/输出通道的设计、通用或专用软件程序的开发。目前,这类智能化测量控制仪表已经能够实现四则运算、逻辑判断、命令识别、自诊断自校正、甚至自适应和自学习的功能。随着科学技术的进一步发展,这类仪表的智能程度必将会越来越高。

1.1 智能化测量控制仪表的基本组成及其发展

以单片机为核心的智能化测量控制仪表的基本组成如图 1.1 所示。

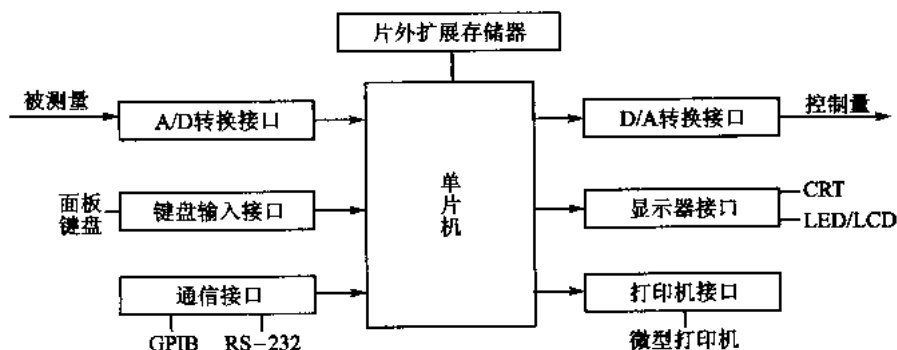


图 1.1 智能化测量控制仪表的基本组成

单片机是仪表的主体,对于小型仪表来说,单片机内部的存储器已经足够;大型仪表要进行复杂的数据处理,或者要完成复杂的控制功能,其监控程序较大,测量数据较多,这时就需要在单片机外部扩展片外存储器。被测量的模拟信号经过 A/D 转换之后,通过输入通道进入单片机内部;单片机根据由键盘置入的各种命令,或者送往打印机打印,或者经过 D/A 转换后成为能够完成某种控制功能的模拟电压。通信接口的功能是通过 GPIB 或者 RS-232 接口总线与其他仪器仪表甚至计算机作远距离通信,以达到资源共享的目的。智能化测量控制仪表的整个工作过程都是在软件程序的控制下自动完成的,装在仪表内部 EPROM 中的监控程序由许多程序模块组成,每一个模块完成一种特定功能,例如实现某种算法、执行某一中断服务程序、接受并分析键盘输入命令等。编制完善的监控程序中的某些功能模块,能够取代某些硬件电路的功能。但是需要指出的是,智能化测量控制仪表中引入单片机之后,有可能降低对某些硬件电路的要求,但这绝不是说可以忽略测试电路本身的重要性,尤其是直接获取被测信号的传感器部分,仍应给予充分的重视,有时提高整台仪表性能的关键仍然在于测试电路尤其是传感器的改进。现在传感器也正在受着微电子技术的影响,不断发展变化。传感器正朝着小型、固态、多功能和集成化的方向发展。有许多国家正致力于将微处理器与传感器集成于一体,以构成超小型、廉价的测量仪器的主体。

近年来智能化测量控制仪表的发展很快。国内市场上已经出现了各种各样的智能化测量控制仪表,例如,能够自动进行差压补偿的智能节流式流量计,能够对各种谱图进行分析和数据处理智能色谱仪,能够进行程序控温的智能多段温度控制仪,以及能够实现数字 PID 和各种复杂控制规律的智能式调节器等。国际上智能化测量控制仪表更是品种繁多,例如,美国 FLUKE 公司生产的直流电压标准器 5440A,内部采用了 3 个微处理器,其短期稳定性达到 1 ppm,线性度可达到 0.5 ppm;美国 RACA-DANA 公司的 9303 型超高电平表,利用微处理消除电流流经电阻所产生的热噪声,测量电平可低至 -77 dB,英国 JISKOOT AUTOCONTROL 公司生产的在线取样系统、在线调和系统,能够对原油、精炼化学品等各种非均匀液体自动取样分析,并能对两种以上形成分流,按精确的配比进行调和;法国 TE 电器公司生产的 TSX 系列可编程序控制器,能够完成各种顺序控制、定位调速、机床数控以及系统识别等功能;美国 HONEYWELL 公司生产的 DSTJ-3000 系列智能变送器,能进行差压值状态的复合测量,可对变送器本体的温度、静压等实现自动补偿,其测量精度可达到 $\pm 0.1\%$ FS;美国 FOXBORO 公司生产的数字化自整定调节器,采用了专家系统技术,能够像有经验的控制工程师那样,根据现场参数迅速地整定调节器。这种调节器特别适合于对象变化频繁或非线性的控制系统。由于这种调节器能够自动整定调节参数,可使整个系统在生产过程中始终保持最佳品质。

近 20 年来,由于微电子学的进步以及计算机应用的日益广泛,智能化测量控制仪表已经取得了巨大的进展。从技术背景上来说,硬件集成电路的不断发展和创新是一个重要因素。各种集成电路芯片都在朝超大规模、全 CMOS 化的方向发展。CMOS 电路具有功耗低、工作

温度范围宽的特点,近年来又采用“硅门”技术取代了原来的“金属门”技术,使 CMOS 电路的速度与 NMOS 及 PMOS 基本相同,输入保护技术也已经有效地克服了静电损坏的缺点。目前已经出现了许多超大规模的 CMOS 集成电路芯片,例如 80C51、80C552 等新一代增强型单片机芯片。这种新一代单片机不仅与 MCS-51 单片机在指令系统上完全兼容,而且在其芯片内部集成了许多新的功能部件,例如片内 A/D 转换器、片内看门狗电路(Watch Dog Timer)、片内脉宽调制器电路(PWM)、芯片间串行总线(I²C Bus)等,从而使用户具有了更大选择范围。一个全 CMOS 电路系统的功耗只是普通 TTL 系统功耗的 1/10,采用这种 CMOS 芯片组成的智能化测量控制仪表可以采用干电池供电,从根本上解决了市电工频干扰的问题。同时还可以使仪器小型化,以便于野外使用。如今还出现了许多专用的数字信号处理芯片,例如美国 TI 公司生产的 TMS320 系列数字信号处理芯片,其运算速度非常快,特别适用于数字信号处理仪表,例如各种逻辑分析仪等。

1.2 智能化测量控制仪表的功能特点

传统测控仪表对于输入信号的测量准确性完全取决于仪表内部各功能部件的精密性和稳定性水平。图 1.2 所示是一台普通数字电压表的结构框图,滤波器、衰减器、放大器、A/D 转换器以及参考电压源的温度漂移电压和时间漂移电压都将反映到测量结果中去。如果仪表所采用器件的精密性高些,则这些漂移电压会小些;但从客观上讲,这些漂移电压总是存在的。另外,传统仪表对于测量结果的正确性也不能完全保证。所谓正确性是指仪表应在其各个部件完全无故障的条件下进行测量,而传统仪表在其内部某些部件发生故障时仍然继续进行测量,并继续给出测量结果值,显而易见这时的测量结果将是不正确的。智能化测量控制仪表的出现使上述两个问题的解决有了突破性的进展。

智能化测量控制仪表可以采用自动校准技术来消除仪表内部器件所产生的漂移电压。如图 1.3 所示,在每次进行实际测量之前,单片机发出指令使开关 K 接地,此时仪表的输入为 0,仪表的测量值即是仪表内部器件(滤波器、衰减器、放大器和 A/D 转换器等)所产生的零点漂移值,将此值存入单片机的内部数据存储器 RAM 中;然后单片机发出指令使开关 K 接入被测电压进行实际测量。由于漂移的存在,实际测量值中包含有零点漂移值,因此只要将测量值与零点漂移值相减,即可获得准确的被测电压值。

众所周知,任何仪表都必须要进行周期性的校准,以保证其额定精度的合法性。传统仪表的校准通常是采用与更高一级的同类仪表进行对比测量来实现的。这种校准方法费时、费力,而且校准后,在使用时还要反复查对检定部门给出的误差修正值表,给用户造成很大的不便。智能化测量控制仪表提供了一种先进而方便的自动校准方法。如图 1.3 所示,校准时,单片机发出指令使开关 K 接到基准源上(基准源可以是仪表外部加入的标准量,也可以是仪表自带的标准基准电压),此时仪表的输入为标准电压,仪表将对这一标准电压的测量值存入表内

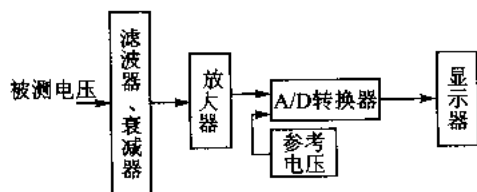


图 1.2 普通数字电压表的原理框图

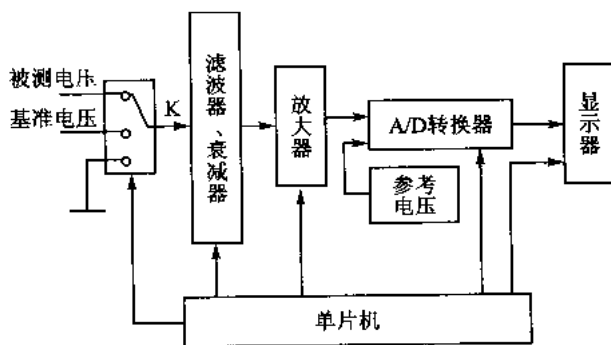


图 1.3 智能化数字电压表的原理框图

的非易失性 RAM 中(一个采用镉镍电池供电的非易失性 RAM 中的信息可保存 10 年以上),作为表内标准,从而可以在以后的各次实际测量中,用这一标准值对测量值进行修正。这种校准方法完全基于单片机的计算与存储功能,校准时间短,操作方便,不用打开机盖,不需调整任何元件,非专业人员也可操作,因此深受仪表使用者的欢迎。自动校准是智能化测量控制仪表的一大功能特点,它可降低仪表对于内部器件(如衰减器、放大器等)稳定性的要求,这点对于仪表的设计和制造都有重大意义。

在提高仪表的可靠性,保证测量结果的正确性方面,智能化测量控制仪表也明显优于传统仪表。通常智能化测量控制仪表都设置有自检功能。所谓自检,就是仪表对其自身各主要部件进行的一种自我检测过程,目的是检查各部件的状态是否正常,以保证测量结果的正确性。自检一般分为开机自检、周期性自检和键控自检 3 类。

开机自检是每当接通电源或复位时,仪表即进行一次自检过程。周期性自检是在仪表的工作过程中,周期性地插入自检操作;这种周期性自检是完全自动的,通常在仪表工作的间歇期间插入,不干扰正常测量过程。除非是检查到故障,周期性自检是不为仪表操作者所察觉的。键控自检是在仪表的面板上设置一个专门的自检按键,需要时可由操作人员启动仪表进行自检。

仪表自检的内容比较广泛,自检项目与仪表的功能和特性密切相关。通常自检的对象包括 RAM、ROM、A/D 转换器、显示器以及一些特殊功能部件等。对于不同的自检对象和目的,检查的方法也不相同。对于 RAM 的自检可采用写入数据和读出数据是否一致的方法进行。如果写入与读出的数据不一致,则说明该 RAM 器件存在故障。对于显示器的自检可让其全部发光。如果某一显示器不发光,则说明它存在故障。对于 A/D 转换器的自检可给其施加一个标准电压,如果此时的 A/D 转换结果数据在预期的范围之内,则说明 A/D 转换器工作正常。对于 ROM 的自检可采用校验和的方法进行,如图 1.4 所示,在将程序代码写入 ROM 时,保留一个单元(一般为最后一个单元)不写程序代码,而是写入“校验字”。利用这个校验字

使 ROM 的每一竖列都具有奇数个“1”，这样就使 ROM 的每一竖列的校验和全为“1”。当进行 ROM 自检时，如果程序的出口参数（即校验和）为“11111111”，则说明该段程序代码没有丢失。

在进行自检的过程中，如果检测到仪表的某一部分存在故障，仪表将以某种特殊的显示方式提醒操作人员注意，并显示当前的故障状态或故障代码，从而使仪表的故障定位更加方便。一般来说，仪表的自检项目越多，则使用和维修也就越方便，但是相应的自检硬件和软件也就越复杂。

ROM 地址	ROM 内容	程序代码 校验和
1	01011010	
2	10100110	
3	11000101	
4	00111110	
5	00000010	
6	11110000	
7	11101101	
8	11100111	
11111111		校验字

图 1.4 ROM 中的程序代码和校验字

智能化测量控制仪表内含单片机，可以充分利用单片机对于数据的处理能力，最大限度地消除仪表的随机误差和系统误差。随机误差存在于每一次测量过程之中，而且其大小、符号都是不确定和不可预知的。但是 N 个测量数据中所包含的随机误差具有统计规律。概率统计理论证明，随机误差服从正态分布。 N 个测量值中包含的随机误差具有对称性或相消性，因此可以用统计平均的方法来消除随机误差。概率统计理论还证明，对于 N 个带有随机误差的测量数据，当 N 逐步增大时，其平均值是真值的无偏估计值。因此，在智能化测量控制仪表完成一次测量，实际上是对被测量进行了 N 次采样之后，取这 N 次采样值的平均值。对于仪表系统误差的消除可以采用前面介绍的自动校准方法。利用单片机对于测量数据的计算处理能力，是智能化测量控制仪表提高测量和控制准确度的一个重要方法。此外，还可以用这种方法来进行仪表的非线性特性校正。根据仪表功能的不同，数据处理的方法也多种多样，详细内容将在本书第七章和第八章讨论。智能化测量控制仪表除了具有上述功能之外，还可以带有串行或并行通信接口，从而使之具有数据远传和远地程控的能力。利用若干台带有 GPIB 接口的智能化测量控制仪表，可以方便地组成一个自动测控系统。

智能化测量控制仪表是科学技术发展到今天的最新产物，尽管目前这类仪表的智能化程度还不是很高，但是可以预计随着微电子技术、信息技术、计算技术以及人工智能技术的不断发展和完善，这种新一代的智能化测量控制仪表的智能程度必将越来越高。

1.3 智能化测量控制仪表的设计方法

智能化测量控制仪表设计的主要内容通常包含硬件（连同单片机在内的全部电子线路）、软件（包括监控管理程序及各种功能模块）及仪表结构工艺这 3 大部分。设计者应该熟悉该仪表的工作原理和技术性能，应能对仪表的硬件部分独立进行设计和计算；能够根据该仪表的各项测量功能独立进行软件设计；还要能够根据所设计的原理电路，综合考虑仪表的性能和技术

要求,合理地布置元器件,并绘制出仪表的线路图;最后,对所设计的仪表进行总调,发现设计中的错误之处及时修正,直至所设计的智能化测量控制仪达到预期的要求。

在智能化测量控制仪表的设计研制过程中,要按仪表的功能把硬件和软件分成若干个模块,对各个模块采用“自顶向下”的顺序分别进行设计和调试,最后将各模块连接起来进行总调。首先要对智能化测量控制仪表进行总体设计。按仪表应完成的任务确定其功能。例如:仪表是用于过程控制还是用于数据采集和处理,要求的精度如何;仪表输入信号的类型、范围如何;是否需要进行隔离;仪表的输出采用什么形式,是否需要进行打印输出;仪表是否需要具有通信功能,采用并行还是串行通信;仪表的成本应控制在什么范围之内等。另外还要对整台仪表的结构、外形、面板布置以及使用环境等给予充分的考虑。在总体设计中要绘制出仪表的系统总图及各功能模块的流程图,拟定详细的工作计划。完成总体设计后,再根据这些计划按流程图对仪表各部分硬件和软件进行具体的设计。

在智能化测量控制仪表中,单片机是它的核心,因此在硬件设计时首先要考虑单片机的选择,然后再确定与之配套的外围芯片。在选择单片机时,要考虑的因素有字长(即数据总线宽度)、寻址能力、指令功能、执行速度、中断能力以及市场对该种单片机的软、硬件支持状况等。

用于工业现场以测量控制为主要目的的单片机,以及用于通用计算机系统以大量数据处理为主要目的的通用微处理器,因为它们的应用领域和应用目的有很大不同,所以它们的发展方向也不尽相同。通用微处理器为了满足大量数据处理对于高速性、大容量的要求,其数据总线宽度从8位向16位、32位甚至更宽的范围发展是十分必要的。而用于测量控制的单片机,其大多数测控参数如温度、压力、流量等对于运算速度和数据容量的要求则相对有限,在单片机的主振频率已达20~40 MHz范围时,其数据处理速度已退居控制功能之后。因此,新一代单片机并不急于增加数据总线的宽度,而是大力发展其控制功能和控制运行的可靠性。由于8位单片机的价格低,适用范围广,在智能化测量控制仪表领域内有着十分广阔的应用前景。未来的单片机市场上,8位单片机仍会稳定一个相当长的时期。目前我国MCS-51系列单片机已经形成主流局面,世界市场上SIEMENS、PHILIPS等大电气商的介入,特别是PHILIPS公司在MCS-51基础上发展了新一代的80C51系列单片机,将使我国对于8位单片机的应用需求量在短期内不会有很大的改变。80C51系列单片机具有数据存储器 and 程序存储器两个寻址空间,分别都为64 KB。这种寻址空间,对于一般的智能化测量控制仪表来说已经足够了。在指令功能和执行速度上,80C51系列单片机也是比较合理的,它的算术和逻辑运算指令功能较强,而且还有乘除指令和位操作指令(即布尔操作指令)。在全部111条指令系统中,仅有17条3字节指令,其余均为单字节或双字节指令。一般而言,指令的字节数越少,则其执行速度越快。80C51系列单片机的中断源有5~7个(PHILIPS单片机80C52的中断源多达15个),因此其中断处理能力较强,能满足一般实际应用的要求。80C51系列单片机的市场支持能力也十分巨大,其外围扩展芯片十分丰富。尤其是PHILIPS单片机80C51的多功能系列可适用于不同的应用领域。例如:需要可靠的参数保护可选用该系列中有片内256字节

EEPROM 的 8XC851 单片机;在小电压、低功耗应用时可选用 8XCL410;需要大量 I/O 口时可选用 8XC451;需要综合性能优异且带片内 A/D 转换器、片内 PWM 时可选用 8XC552 等。此外,PHILIPS 单片机 80C51 还提供一种 I²C BUS(芯片间总线),使单片机应用系统的随意性(结构、规模、形态)得以充分发挥,使用户可方便地组成自己的模块化系统。

在充分考虑上述各种因素正确选择了单片机之后,还要进行输入和输出接口和其他功能组件的设计。输入/输出接口是智能化测量控制仪表与外部设备交换信息的通道,它包括 A/D 和 D/A 转换接口、键盘显示器接口、打印机接口以及各种通信接口等。在进行上述各种接口设计过程中,要画出详细电路图并进行参数计算,标出各个芯片的型号、器件参数值,然后根据电路图在试验上进行调试,发现设计不当之处随时修改。在试验板上调试成功之后再制作印刷电路板,这样可以逐步发现硬件问题,而在试验板上改动硬件设计比在印刷板上改动要容易得多。最后还应指出,在硬件电路设计时还应考虑到仪表的可维修性,即在电路上适当增加若干故障检查手段,如各种短路点及跳线等。这样做虽然会增加一些成本,但可节省今后产品维修的费用。

软件设计也是智能化测量控制仪表的一个主要内容。设计者不仅应能熟练地进行各种硬件电路设计,同时还必须掌握软件的设计方法。通常的软件设计方法是先画出程序流程图,然后根据流程图写出程序。常用的程序设计技术有下面 3 种:

1. 模块法

模块法是把一个长的程序分成若干个较小的程序模块进行设计和调试,然后把各个模块连接起来。智能仪表监控程序总的可分为 3 大模块,即监控主程序、接口管理程序和命令处理子程序。命令处理子程序通常又可分为测试、数据处理、输入/输出、显示等子程序模块。由于程序分成一个个较小的独立模块,因而方便了编程、纠错和调试。

2. 自顶向下设计方法

研制软件有两种截然不同的方式,一种叫做“自顶向下”(Top-down)法,另一种叫做“自底向上”(Bottom-up)法。所谓“自顶向下”法,概括地说,就是从整体到局部,最后到细节。即先考虑整体目标,明确整体任务,然后把整体任务分为一个个子任务,子任务再分成子任务,同时分析各子任务之间的关系,最后拟订各子任务的细节。这犹如要建造一座房子,先要设计总体图,再绘制详细的结构图,最后一块砖一块砖地建造起来。所谓“自底向上”法,就是先解决细节问题,再把各个细节结合起来,就完成了整体任务。“自底向上”是传统的程序设计方法。这种方法有严重的缺点:由于从某个细节开始,对整体任务没有进行透彻的分析与了解,因而在设计某个模块程序时很可能会出现原来没有预料到的新情况,以至于要修改或重新设计已经设计好的程序模块,造成返工,浪费时间。目前,都趋向于采用“自顶向下”法,但事情不是绝对的,不少程序设计者认为,这两种方法应该结合起来使用。一开始在比较“顶上”时,应该采用“自顶向下”法;但“向下”到一定的程度,有时需要采用“自底向上”法。例如对某个关键的细节

问题,先编制程序,并在硬件上运行,取得足够的数据后再回过头来继续设计。

3. 结构化程序设计

结构化程序(Structured Programming)设计是 20 世纪 70 年代起逐渐被采用的一种新型的程序设计方法,它不仅在许多高级语言中应用,如结构 BASIC、结构 FORTRAN 等,而且其基本结构同样适用于汇编语言的程序设计。结构化程序设计的目的是使程序易读、易查、易调试,并提高编制程序的效率。在结构化程序设计中不用或严格限制使用转移语句。结构化程序设计的一条基本原则是每个程序模块只能有一个入口、一个出口。这样一来,各个程序模块可分别设计,然后用最小的接口组合起来,控制明确地从一个程序模块转移到下一个模块,使程序的调试、修改或维护都要容易得多。大的复杂程序可由这些具有一个入口和一个出口的简单结构组成。

在结构化程序设计中仅允许使用下列基本结构:

(1) 顺序结构,这是一种线性结构。在这种结构中程序被顺序连续地执行,如序列:

P1

P2

P3

计算机首先执行 P1,其次执行 P2,最后执行 P3。这里 P1、P2、P3 可为一条语句,也可为一个程序模块。

(2) 选择结构,如图 1.5 所示。

(3) 循环结构,有 Repeat-until 和 Do-while 两种形式。Repeat-until 结构先执行过程后判断条件,如图 1.6(a)所示。而 Do-while 结构是先判断条件再执行过程,如图 1.6(b)所示。前者至少执行一次过程,而后者可能连一次过程也不执行。两种结构所取的循环参数的初值也是不同的。例如,若要进行 N 次循环,往下计数,到零时出口,则在 Repeat-until 结构中,循环参数初值取为 N ;而在 Do-while 结构中,循环参数初值应取为 $N+1$ 。

以上结构可嵌套任意层数。

理论证明:采用这 3 种基本结构可构成任何程序。结构化程序设计具有上面所述的许多优点,但也有缺点,如用结构程序法设计的程序,其执行速度比较慢,占用的存储器比较多,由于限于 3 种结构而使某些任务难于处理等。

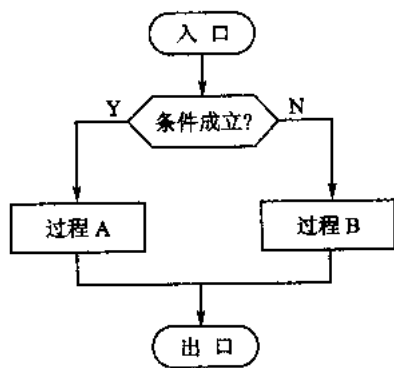


图 1.5 选择结构

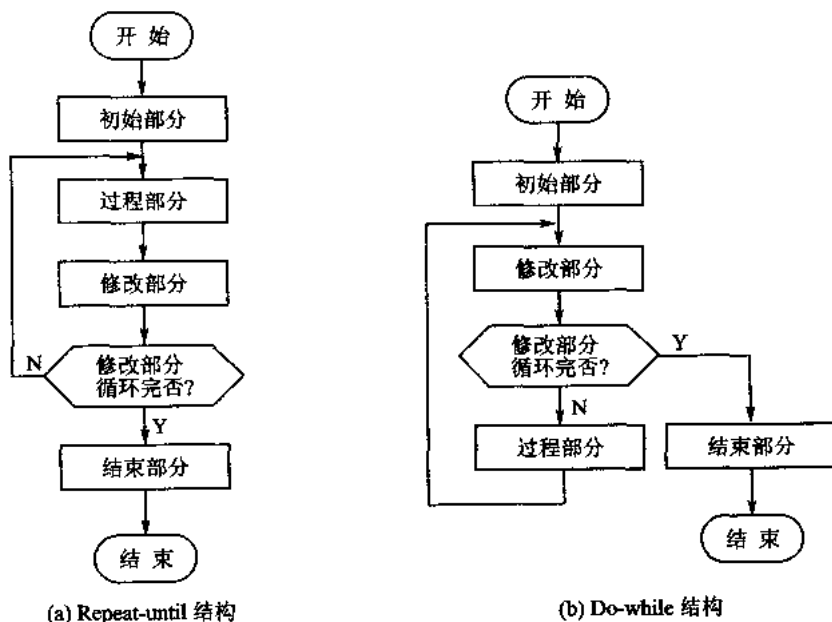


图 1.6 循环结构

复习思考题

1. 试画出智能化测量控制仪表的基本组成框图,叙述各个组成部分的功能。
2. 智能化测量控制仪表具有哪些功能特点?
3. 智能化测量控制仪表由于引入了单片机,是否因此能用软件来取代仪表的全部硬件功能? 仪表中哪些硬件电路仍是必须加以重视的? 为什么?
4. 智能化测量控制仪表硬件设计上对单片机的选择应考虑哪些主要因素?
5. 常用的程序设计方法有哪几种?
6. 结构化程序设计中有哪几种基本结构? 画出它们的结构框图。

第二章 智能化测量控制仪表中的专用微处理器

第一章中概述了在进行智能化测量控制仪表设计时选择微处理器应考虑的主要因素,是从一般的角度来叙述的。事实上目前很多仪表生产厂家在研制开发智能化测量控制仪表时,都趋向于采用 8 位微处理器,例如 80C51 系列单片机。这是因为 8 位微处理器具有 64K 寻址能力,这对于一般的测量控制仪表来说已足够了。尤其是 80C51 系列单片机,它不仅可寻址 64K 的程序空间,还可寻址 64K 的数据空间,即在物理结构上它具有两个寻址空间,这点对于要求测量控制过程较为复杂、程序或表格较为庞大、测量数据较多以及实时数据处理较复杂的场合尤为适用。另外,单片机在一块超大规模集成电路芯片上同时集成了 CPU、ROM、RAM 及定时器/计数器,使用者只需外接少量的接口电路就可组成一个测量控制仪表的专用微处理器系统。目前市场上单片机的硬件支持芯片及软件应用程序也十分丰富,这些使智能化测量控制仪表的研制开发周期相对缩短,并且使仪表的体积也相对缩小,造价也可适当降低。到目前为止,80C51 系列单片机有了很大的发展,除了 Intel 公司之外,PHILIPS、SIEMENS、AMD、FUJITSU、OKI、ATMEL、SST、WINBOND 等公司都推出了以 80C51 为核心的新一代 8 位单片机。这种新型单片机的集成度更高,在片内集成了更多的功能部件,例如 A/D、PWM、PCA、WDT 以及高速 I/O 口等;因此,许多仪表生产厂家都乐于采用 80C51 系列单片机作为其所生产的测量控制仪表的专用微处理器。本章从测量控制仪表中专用微处理器的角度来阐述 80C51 系列单片机的结构原理、指令系统、并行和串行接口、内部计数器/定时器及中断系统等基本知识。

2.1 80C51 系列单片机的特点

80C51 系列单片机是在美国 Intel 公司于 20 世纪 80 年代推出的 MCS-51 系列高性能 8 位单片机的基础上发展而来的,它在单一芯片内集成了并行 I/O 口、异步串行口、16 位定时器/计数器、中断系统、片内 RAM 和片内 ROM 以及其他一些功能部件。现在 80C51 系列单片机已有许多个品种,不同公司推出的 80C51 具有各自的功能特点;但它们的内核都是以 Intel 公司的 MCS-51 为基础的,并且指令系统兼容,从而给用户带来了广阔的选择范围,同时又可以采用相同的开发工具。

80C51 系列单片机可分为无片内 ROM 型和带片内 ROM 型两种。对于无片内 ROM 型的芯片,必须外接 EPROM 才能应用(典型芯片为 80C31)。带片内 ROM 型的芯片又分为片

内 EPROM 型(典型芯片为 87C51)、片内 FLASH 型(典型芯片为 89C51)、片内掩膜 ROM 型(典型芯片为 80C51),一些公司还推出了一种带有片内一次性可编程(One Time Programming,简称 OTP)ROM 的芯片(典型芯片为 97C51)。一般来说,片内 EPROM 型或片内 FLASH 型芯片适合于开发样机和需要现场进一步完善的场合。当样机开发基本成功后,可以采用 OTP 型芯片进行小批量试生产;完全成功后,再采用带掩膜 ROM 的 80C51 进行大批量生产。

80C51 系列单片机在存储器的配置上采用程序存储器与数据存储器分开的结构,利用不同的指令和寻址方式进行访问,可分别寻址 64 KB 的程序存储器空间和 64 KB 的数据存储器空间,充分满足工业测量控制的需要。80C51 系列单片机共有 111 条指令,包括乘除指令和位操作指令。中断源有 5 个(8032/8052 为 6 个),分为 2 个优先级,每个中断源的优先级是可编程的。在 80C51 系列单片机的内部 RAM 区中开辟了 4 个通用工作寄存器,共有 32 个通用寄存器,可以适用于多种中断或子程序嵌套的情况。另外,还在内部 RAM 中开辟了 1 个位寻址区,利用位操作指令可以对其中各个单元的每一位直接进行操作,特别适合于解决各种控制和逻辑问题。ROM 型 80C51 在单芯片应用方式下其 4 个并行 I/O 口(P0~P3)都可以作为输入/输出使用,在扩展应用方式下需要采用 P0 和 P2 口作为片外扩展地址总线使用。80C51 单片机内部集成了一个全双工的异步串行接口,可同时发送和接收数据,为单片机之间的相互通信或与上位机通信带来极大的方便。

2.2 80C51 单片机的结构

2.2.1 基本组成与内部结构

80C51 单片机的基本组成如图 2.1 所示。一个单片机芯片内的基本组成如下:

- 中央处理器 CPU:它是单片机的核心,用于产生各种控制信号,完成对数据的算术逻辑运算和传送。
 - 内部数据存储器 RAM:用来存放可以读/写的数据。
 - 内部程序存储器 ROM:用来存放程序指令或某些常数表格。
 - 4 个 8 位的并行 I/O 接口 P0、P1、P2 和 P3,每个口都可以用作输入或者输出。2 个(8051)或 3 个(8052)定时器/计数器,用来作外部事件计数器,也可用来定时。
 - 内部中断系统:具有 5 个中断源、2 个优先级的嵌套中断结构,可实现二级中断服务程序嵌套。每一个中断源都可用软件程序规定为高优先级中断或低优先级中断。
 - 一个串行接口电路:可用于异步接收发送器。
 - 内部时钟电路:振荡频率可以高达 40 MHz,但晶体和微调电容需要外接。
- 以上各部分通过内部总线相连接。

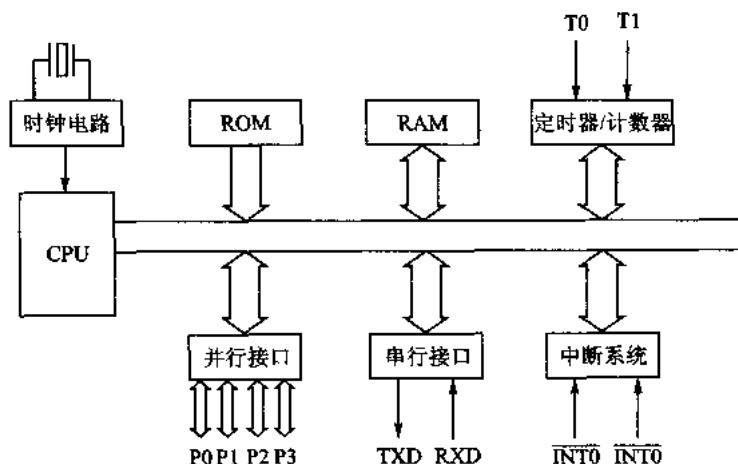


图 2.1 80C51 单片机的基本组成

在很多情况下,单片机还要与外部设备或外部存储器相连接。连接方式采用三总线(地址、数据、控制)方式。但在 80C51 单片机中,没有单独的地址总线和数据总线,而是与通用并行 I/O 口中的 P0 口及 P2 口共用。P0 口分时作为低 8 位地址线和 8 位数据线用,P2 口则作为高 8 位地址线用,可形成 16 条地址线和 8 条数据线。但是一定要建立一个明确的概念,单片机在进行外部扩展时的地址线和数据线都不是独立的总线,而是与并行 I/O 口共用的,这是 80C51 单片机结构上的一个特点。

图 2.2 所示为 8051 单片机内部结构框图。其中中央处理器 CPU 包含运算器和控制器两大部分,运算器完成各种算术和逻辑运算,控制器在单片机内部协调各功能部件之间的数据传送和运算操作,并对单片机外部发出若干控制信息。

1. 运算器

运算器以算术逻辑单元 ALU 为核心,加上累加器 ACC、暂存寄存器 TMP 和程序状态字寄存器 PSW 等组成。ALU 主要用于完成二进制数据的算术和逻辑运算,并通过对运算结果的判断来影响程序状态字寄存器 PSW 中有关位的状态。累加器 ACC 是一个 8 位寄存器(在指令中一般写为 A),它通过暂存寄存器 TMP 与 ALU 相连。ACC 的工作最为繁忙,因为在进行算术逻辑运算时,ALU 的一个输入多为 ACC 的输出,而大多数运算结果也需要送到 ACC 中。在作乘除运算时,B 寄存器用来存放一个操作数,它也用来存放乘除运算后的一部分结果。若不作乘除操作,B 寄存器可用作通用寄存器。程序状态字寄存器 PSW 也是一个 8 位寄存器,用于存放运算结果的一些特征。其格式如下:

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
CY	AC	F0	RS1	RS0	OV	\	P

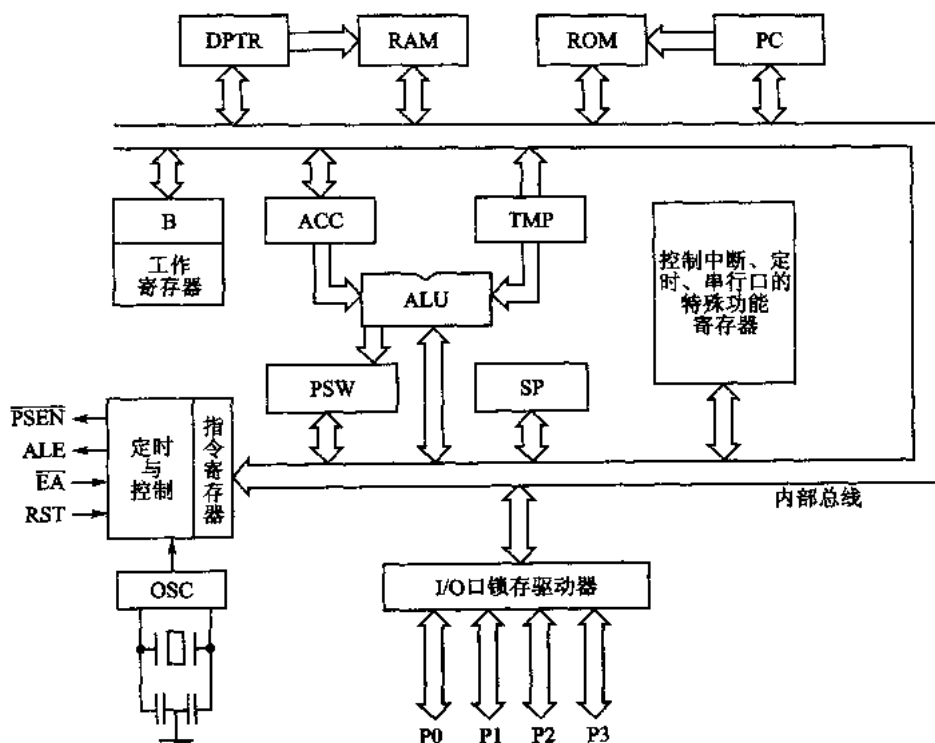


图 2.2 80C51 单片机的内部结构

其中各位的意义如下：

- CY 进位标志。在进行加法或减法运算时，若运算结果的最高位有进位或借位，CY=1；否则 CY=0。在执行位操作指令时，CY 作为位累加器。
- AC 辅助进位标志。在进行加法或减法运算时，若低半字节向高半字节有进位或借位，AC=1；否则 AC=0。AC 还作为 BCD 码运算调整时的判别位。
- F0 用户标志。用户可根据自己的需要对 F0 赋以一定的含义，例如可以用软件来测试 F0 的状态以控制程序的流向。
- RS1 和 RS0 作寄存器组选择。可以用软件来置位或复位。它们与工作寄存器组的关系见表 2-1。
- OV 溢出标志。当两个带符号的单字节数进行运算，结果超出 -128~+127 范围

表 2-1 RS1、RS0 与工作寄存器组的关系

RS1	RS0	工作寄存器组	片内 RAM 地址
0	0	第 0 组	00H~07H
0	1	第 1 组	08H~0FH
1	0	第 2 组	10H~17H
1	1	第 3 组	18H~1FH

时, $OV=1$, 表示有溢出; 否则 $OV=0$, 表示无溢出。

PSW 中的 DI 位为保留位, 对于 8051 来说没有意义, 对于 8052 来说为用户标志, 与 F0 相同。

P 奇偶校验标志。每条指令执行完毕后, 都按照累加器 A 中“1”的个数来决定 P 值, 当“1”的个数为奇数时, $P=1$; 否则 $P=0$ 。

2. 控制器

控制器包括定时控制逻辑、指令寄存器、指令译码器、程序计数器 PC、数据指针 DPTR、堆栈指针 SP、地址寄存器和地址缓冲器等。它的功能是对逐条指令进行译码, 并通过定时和控制电路在规定的时刻发出各种操作所需的内部和外部控制信号, 协调各部分的工作。下面简单介绍其中主要部件的功能。

- 程序计数器 PC: 用于存放下一条将要执行指令的地址。当一条指令按 PC 所指向的地址从程序存储器中取出之后, PC 的值会自动增量, 即指向下一条指令。
- 堆栈指针 SP: 用来指示堆栈的起始地址。80C51 单片机的堆栈位于片内 RAM 中, 而且属于“上长型”堆栈, 复位后 SP 被初始化为 07H, 使得堆栈实际上由 08H 单元开始。必要时可以给 SP 装入其他值, 重新规定栈底的位置。堆栈中数据操作规则是“先进后出”, 每往堆栈中压入一个数据, SP 的内容自动加 1。随着数据的压入, SP 的值将越来越大。当数据从堆栈弹出时, SP 的值将越来越小。
- 指令译码器: 当指令送入指令译码器后, 由译码器对该指令进行译码。即把指令转变为所需要的电平信号, CPU 根据译码器输出的电平信号使定时控制电路产生执行该指令所需要的各种控制信号。
- 数据指针寄存器 DPTR: 是一个 16 位寄存器, 由高位字节 DPH 和低位字节 DPL 组成, 用来存放 16 位数据存储器的地址, 以便对片外 64 KB 的数据 RAM 区进行读/写操作。

2.2.2 引脚功能

采用 40 引脚双列直插封装(DIP)的 80C51 单片机引脚分配如图 2.3 所示。

各引脚功能如下:

$V_{SS}(20)$: 接地。

$V_{CC}(40)$: 接 +5 V 电源。

XTAL1(19)和 XTAL2(18): 在使用单片机内部振荡电路时, 这两个端子用来外接石英晶体和微调电容(见图 2.4(a))。在使用外部时钟时, 则用来输入时钟脉冲, 但对 NMOS 和 CMOS 芯片接法不同。图 2.4(b)所示为 NMOS 芯片 8051 外接时钟。图 2.4(c)所示为 CMOS 芯片 80C51 外接时钟。

RST/ V_{PD} (9): RST 是复位信号输入端。当此输入端保持两个机器周期(24 个振荡周期)的高电平时,就可以完成复位操作。第二功能是 V_{PD} ,即备用电源输入端。当主电源发生故障,降低到规定的低电平以下时, V_{PD} 将为片内 RAM 提供备用电源,以保证存储在 RAM 中的信息不丢失。

ALE/ $\overline{P}ROG$ (30): ALE 是地址锁存允许信号,在访问外部存储器时,用来锁存由 P0 口送出的低 8 位地址信号。在不访问外部存储器时,ALE 以振荡频率 1/6 的固定速率输出脉冲信号。因此它可用作对外输出的时钟。但要注意,只要外接有存储器,ALE 端输出的就不再是连续的周期脉冲信号。第二功能 $\overline{P}ROG$ 是用于对 8751 片内 EPROM 编程的脉冲输入端。

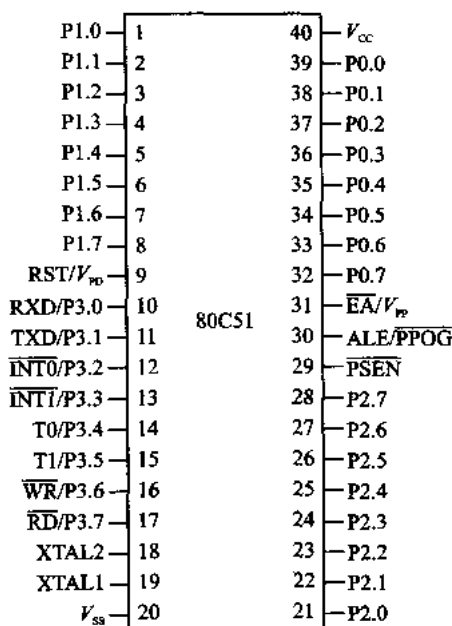


图 2.3 80C51 系列单片机引脚分配图

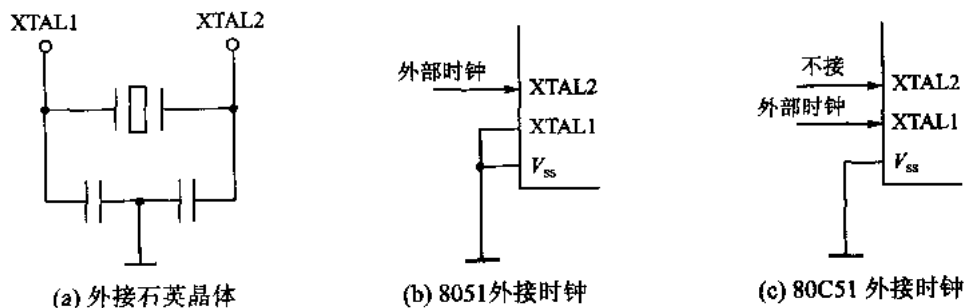


图 2.4 80C51 单片机的时钟接法

$\overline{P}SEN$ (29): 它是外部程序存储器 ROM 的读选通信号。在执行访问外部 ROM 指令时,会自动产生 $\overline{P}SEN$ 信号;而在访问外部数据存储器 RAM 或访问内部 ROM 时,不产生 $\overline{P}SEN$ 信号。

$\overline{EA}/V_{PP}$ (31): 访问外部存储器的控制信号。当 $\overline{EA}$ 为高电平时,访问内部程序存储器;但当程序计数器 PC 的值超过 0FFFH(对 8051/80C51/8751)或 1FFFH(对 8052)时,将自动转向执行外部程序存储器内的程序。当 $\overline{EA}$ 保持低电平时,只访问外部程序存储器,不管是否有内部程序存储器。第二功能 V_{PP} 为对 8751 片内 EPROM 的 21 V

编程电源输入。

P0.0~P0.7(39~32): 双向 I/O 口 P0。第二功能是在访问外部存储器时,可分时用作低 8 位地址和 8 位数据线;在对 8751 编程和校验时,用于数据的输入/输出。P0 口能以吸收电流的方式驱动 8 个 LS 型 TTL 负载。

P1.0~P1.7(1~8): 双向 I/O 口 P1。P1 口能驱动(吸收或输出电流)4 个 LS 型 TTL 负载。在对 EPROM 编程和程序验证时,它接收低 8 位地址。在 8052 单片机中,P1.0 还用作定时器 2 的计数触发输入端 T2,P1.1 还用作定时器 2 的外部控制端 T2EX。

P2.0~P2.7(21~28): 双向 I/O 口 P2。P2 口可以驱动(吸收或输出电流)4 个 LS 型 TTL 负载。第二功能是在访问外部存储器时,输出高 8 位地址。在对 EPROM 编程和校验时,它接收高位地址。

P3.0~P3.7(10~17): 双向 I/O 口 P3。P3 口能驱动(吸收或输出电流)4 个 LS 型 TTL 负载。P3 口的每条引脚都有各自的第二功能,详见 2.6 节。

2.3 80C51 单片机的存储器结构

图 2.5 所示为 80C51 系列单片机的存储器结构图。在物理上它有 4 个存储器空间: 片内程序存储器、片外程序存储器以及片内数据存储器 and 片外数据存储器。在访问这几个不同的存储器时应采用不同形式的指令。

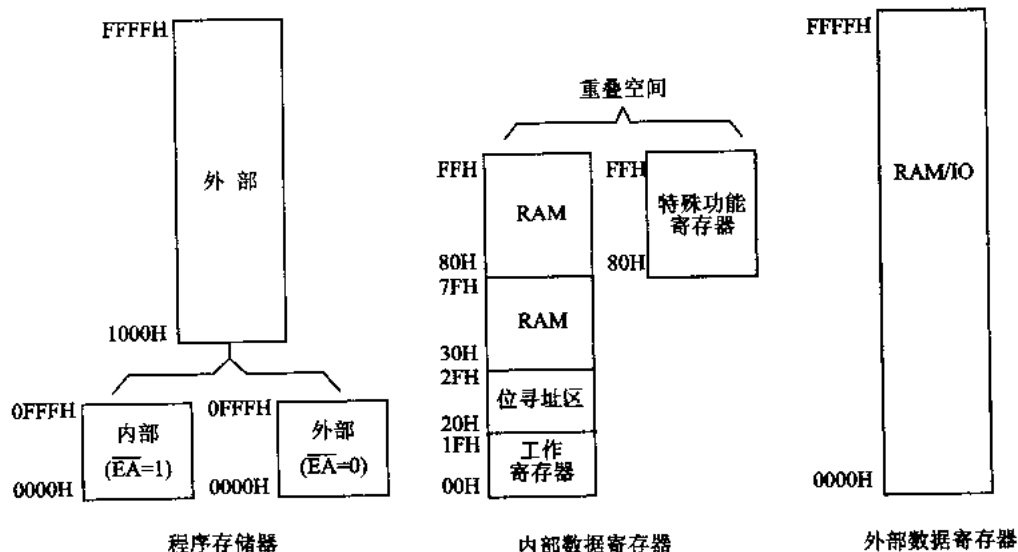


图 2.5 80C51 单片机存储器结构

80C51 系列单片机的程序存储器 ROM 地址空间为 64 KB, 其中 ROM 型单片机具有

4 KB的片内 ROM。CPU 的控制器专门提供一个控制信号 $\overline{EA}$ 来区分片内 ROM 和片外 ROM 的公用地址区;当 $\overline{EA}$ 接高电平时,单片机从片内 ROM 的 4 KB 存储器区取指令。当指令地址超过 0FFFH 后,就自动地转向片外 ROM 取指令。当 $\overline{EA}$ 接低电平时,所有的取指操作均对片外程序存储器进行,这时片外程序存储器的地址范围为 0000H~0FFFFH。对于无 ROM 型单片机, $\overline{EA}$ 端必须接地。程序存储器中有些单元是保留给系统使用的:0000~0002H 单元是所有执行程序的入口地址,复位后 CPU 总是从 0000H 单元开始执行指令;0003~002AH 单元均匀地分为 5 段,用于 5 个中断服务程序的入口。

80C51 系列单片机的片外数据存储器 RAM 也有 64 KB 的寻址区,在地址上是与 ROM 重迭的。80C51 单片机通过不同的信号来选通 ROM 或 RAM。当从外部 ROM 中取指令时,用选通信号 $\overline{PSEN}$;而当从外部 RAM 中读/写数据时,则采用读/写信号 $\overline{RD}$ 或 $\overline{WR}$ 来选通,因此不会因地址重迭而发生混乱。在某些特殊应用场合,如单片机的开发系统等,需要执行存放在数据存储器 RAM 内的程序。这时可采用将 $\overline{PSEN}$ 和 $\overline{RD}$ 信号作逻辑“与”的方法将 8051 单片机的外部程序存储器与数据存储器空间合并,与所得结果产生一个低电平有效的读选通信号,用于合并的存储器空间寻址。

80C51 系列单片机的片内数据存储器 RAM 有 256 字节,其中 00H~7FH 地址空间是直接寻址区。该区域内从 00H~1FH 地址为工作寄存器区,安排了 4 组工作寄存器,每组占用 8 个地址单元,记为 R0~R7。在某一时刻,CPU 只能使用其中任意一组工作寄存器。究竟选择哪一组工作寄存器,则由程序状态字寄存器 PSW 中 RS0 和 RS1 的状态决定,见表 2-1。片内 RAM 的 20H~2FH 地址单元为位寻址区,共 16 字节,每个字节的每一位都规定了位地址。该区域内每个地址单元除了可以进行字节操作之外,还可进行位操作,片内 RAM 的位地址分配如图 2.6 所示。

RAM 地址		MSB								LSB	
7FH										127	
2FH	7F	7E	7D	7C	7B	7A	79	78		47	
2EH	77	76	75	74	73	72	71	70		46	
2DH	6F	6E	6D	6C	6B	6A	69	68		45	
2CH	67	66	65	64	63	62	61	60		44	
2BH	5F	5E	5D	5C	5B	5A	59	58		43	
2AH	57	56	55	54	53	52	51	50		42	
29H	4F	4E	4D	4C	4B	4A	49	48		41	
28H	47	46	45	44	43	42	41	40		40	
27H	3F	3E	3D	3C	3B	3A	39	38		39	
26H	37	36	35	34	33	32	31	30		38	
25H	2F	2E	2D	2C	2B	2A	29	28		37	
24H	27	26	25	24	23	22	21	20		36	
23H	1F	1E	1D	1C	1B	1A	19	18		35	
22H	17	16	15	14	13	12	11	10		34	
21H	0F	0E	0D	0C	0B	0A	09	08		33	
20H	07	06	05	04	03	02	01	00		32	
1FH	工作寄存器3区									31	
18H										24	
17H	工作寄存器2区									23	
10H										16	
0FH	工作寄存器1区									15	
08H										8	
07H	工作寄存器0区									7	
00H										0	

图 2.6 80C51 单片机片内 RAM 位地址